

*Ekologia*, Vol. 11 No.1 , April 2011 : 21-29

## HUJAN ASAM DAN *LEACHING* Fe KE DALAM AIR SUMUR DI WILAYAH INDUSTRI

*Sutanto*<sup>1)</sup>, *Ani Iryani*<sup>2)</sup>, *Latifah K Darusman*<sup>3)</sup>, *Syaiful Anwar*<sup>4)</sup>, dan *Tania June*<sup>5)</sup>

<sup>1,2)</sup>. Jurusan kimia FMIPA Universitas Pakuan, Bogor

<sup>3)</sup>. Departemen Kimia, FMIPA IPB

<sup>4)</sup>. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, FAPERTA IPB

<sup>5)</sup>. Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB

### ABSTRAK

Wilayah Cibinong-Citeureup terdapat banyak industri, berdebu, dan telah mengalami hujan asam. Salah satu dampak hujan asam adalah degradasi kualitas air sumur. Lebih kurang 75% penduduk di wilayah ini yang memanfaatkan air sumur sebagai air minum. Telah dipelajari distribusi dan dampak hujan asam terhadap peningkatan kadar Fe dalam air sumur. Monitoring air hujan dilakukan pada 30 menit pertama hujan pada 16 lokasi dari tahun 1999 sampai 2009. Data keasaman air hujan setiap tahun dipetakan menggunakan program sufer 6, selanjutnya dilakukan overlay dan diidentifikasi daerah yang mengalami hujan asam intensitas tinggi secara terus-menerus. Monitoring kadar Fe air sumur dilakukan pada 16 lokasi sumur dari tahun 1999 sampai 2009. Keasaman air diukur menggunakan pH meter elektronik, dan Fe ditentukan dengan metoda o-fenantrolin menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah yang terus-menerus mengalami hujan asam intensitas tinggi ( $\text{pH} < 5,0$ ) terjadi seluas 4 km<sup>2</sup>. Dalam daerah hujan asam intensitas tinggi ini keasaman air hujan terus meningkat dari tahun 1999-2009. Peningkatan keasaman air hujan menyebabkan *leaching* Fe ke dalam air sumur secara nyata (P 0,049, 95%).

**Kata kunci :** Hujan asam,, *leaching*, Fe, air sumur, industri

### PENDAHULUAN

Daerah Citeureup dan Cibinong Kabupaten Bogor merupakan wilayah industri, padat transportasi, dan berdebu dengan jumlah industri mencapai 2.944 buah. Kepadatan penduduk di daerah ini rata-rata 4131 jiwa/km<sup>2</sup>. Penduduk di wilayah ini yang memanfaatkan air sumur sebagai sumber air minum mencapai 75,63% (BPS, 2008). Hujan asam di wilayah ini terjadi dengan intensitas tinggi yaitu pH 4,7 terkonsentrasi pada daerah sekitar pusat industri dengan radius beberapa km. Intensitas hujan asam semakin menurun dengan semakin jauh jarak dari pusat hujan asam sampai radius 10 km dan kembali normal ( $\text{pH} > 5,6$ ) pada jarak > 20 km (Sutanto, *et al*, 2002).

Hujan asam memiliki pH air hujan kurang dari 5,6 (Menz & Hans, 2004) dan Hujan Asam Dan *Leaching* Fe Ke Dalam Air Sumur .....

(Manahan, 2005). Hujan asam yang masuk ke tanah dapat menyebabkan pelarutan dan pencucian (*leaching*) logam Fe sehingga masuk ke dalam sumur. Logam Fe dalam tanah dapat berbentuk senyawa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematite), FeOOH (geotit), dan Fe<sub>5</sub>(O<sub>4</sub>H<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (ferihidrit). Logam Fe dapat ditranslokasikan dari dekomposisi mineral menjadi bentuk ion Fe<sup>3+</sup>, Fe(OH)<sup>2+</sup>, dan Fe(OH)<sup>4-</sup> (Weiner, 2000). Ketergantungan kelarutan Fe terhadap asam berbanding lurus. Pada pH 7 kelarutan Fe < 0,001 mg/L dan pada pH 3 kelarutan Fe > 2mg/L (Weiner, 2000). Selain itu kelarutan Fe juga tergantung kepada adanya oksidan (Leming *et al*, 2007), suhu dan ukuran partikel (Petrakakis *et al*, 2007). Nwoye *et al*. (2009) menggunakan persamaan  $\% \text{Fe} = e^{-2,042 (\ln T)}$  untuk memprediksi % *leaching* Fe dengan T adalah suhu (°C). Selain tingkat Hujan Asam Dan *Leaching* Fe Ke Dalam Air Sumur .....(Sutanto, dkk)

keasaman larutan, pelepasan logam Fe dari dalam tanah juga tergantung kepada jumlah pelarut terhadap jumlah padatan dalam larutan atau rasio volume cairan dalam liter terhadap berat padatan dalam kg (L/S) van der Sloot *et al*, 2003. Dalam kenyataan di lapangan rasio ini diwakili oleh curah hujan atau musim. Pada sumur terbuka pH air sumur dalam musim kering lebih rendah dari pada musim hujan (Efe *et al*, 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk: memetakan dan menentukan pola kecenderungan perubahan pH hujan asam, menentukan pola perubahan kadar Fe dalam air sumur, dan mencari hubungan matematik antara tingkat keasaman air hujan dengan perubahan kadar Fe dalam air sumur pada daerah yang terus menerus mengalami hujan asam.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini melibatkan data sekunder dari penelitian sebelumnya (data tahun, 1999, dan 2001) yang telah dipublikasikan dan data pengamatan tahun 2006, 2008, dan 2009. Lokasi penelitian adalah Kabupaten Bogor meliputi Kecamatan Cibinong, Kecamatan Citeureup, Kecamatan Gunung Putri, dan Kecamatan Klapanunggal dengan luas cakupan wilayah penelitian  $\pm 100 \text{ km}^2$ . Peralatan meliputi: botol/jerigen sampling kapasitas 2 liter, alat penampung air hujan dari plastik, pH meter (LUTRON), spektrofotometer UV-VIS (Thermo Scientific, tipe Genesys 10V), neraca analitik, penangas air, dan peralatan gelas lainnya. Bahan-bahan yang digunakan adalah: asam sulfat, kertas pH, larutan buffer (pH 4, 7 dan 10), HCl, hidroksilamin, dll.

Metode sampling air dan analisis kimia yang dilakukan dalam penelitian ini merujuk pada metode: Standar methode for examination of water and waste water APHA [9].

Pengukuran pH air hujan dan air sumur dilakukan dengan metode elektro-

metri menggunakan alat ukur pH elektronik (pHmeter). Alat dikalibrasi dengan larutan buffer (pH 4, 7, dan 10). Air hujan ditampung pada setengah jam pertama dengan wadah plastik 2 meter di atas permukaan tanah, diukur pH, kemudian diawetkan dengan asam sulfat hingga pH 2. Air sumur terbuka disampling dengan timba dimasukkan ke dalam jerigen plastik bersih, diukur pH kemudian diawetkan dengan asam sulfat hingga pH 2. Masing-masing dilakukan pada 7 titik lokasi di wilayah penelitian. Kemudian sampel dibawa ke laboratorium untuk analisis Fe.

Pengukuran kadar besi dilakukan dengan metoda o-fenantrolin dengan alat spektrofotometer. Ion besi dalam sample dibuat bermuatan 2 dengan hidroksilamin HCl, kemudian pada kondisi larutan pH 2 direaksikan dengan larutan o-fenantrolin. Warna merah intensif diukur serapannya pada panjang gelombang 510 nm.

Data pH dan lokasi sampling (koordinat) diplot dengan bantuan komputer program sufer 6, untuk menghasilkan garis isopleth pH. Garis isopleth pH ini di “overlay” dengan peta wilayah penelitian untuk menghasilkan peta isopleth pH. Peta isopleth pH dibuat berdasarkan data pH air hujan tahun 1999, 2001, 2006, 2008, dan 2009. Masing-masing peta isopleth pH dilakukan *overlay* dan diidentifikasi daerah mana saja yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi (pH<5).

Pola kecenderungan penurunan pH air hujan dibuat dengan data tahun 1999, 2001, dan 2006, 2008, dan 2009. Untuk maksud ini dilakukan dengan bantuan komputer program minitab untuk mendapatkan persamaan matematik dan visualisasi grafik. Dengan cara yang sama pola perubahan kadar Fe dalam air sumur dibuat berdasarkan data tahun 1999, sampai tahun 2009.

Data pH air hujan dari tahun 1999 sampai 2009 diplot terhadap kadar Fe

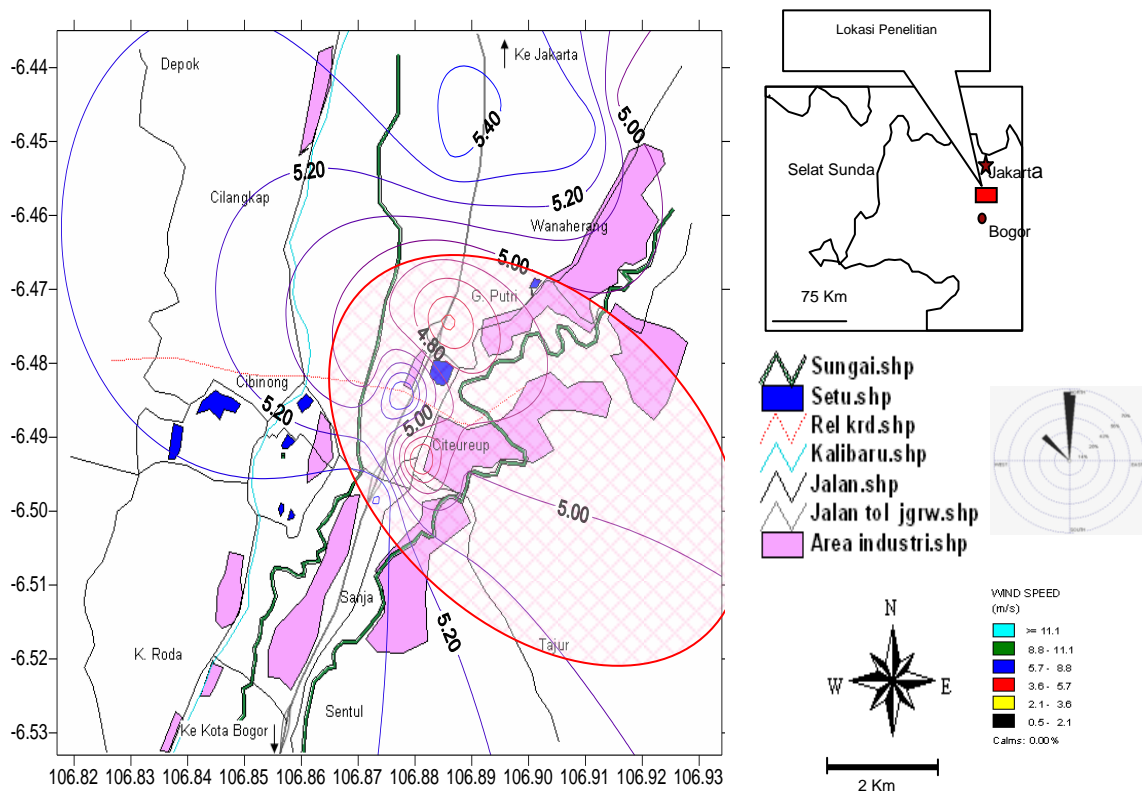
Hujan Asam Dan *Leaching* Fe Ke Dalam Air Sumur .....(Sutanto, dkk)

dalam air sumur dengan bantuan program Excel 2003. Persamaan matematik dipilih dengan nilai koefisien determinasi tertinggi.

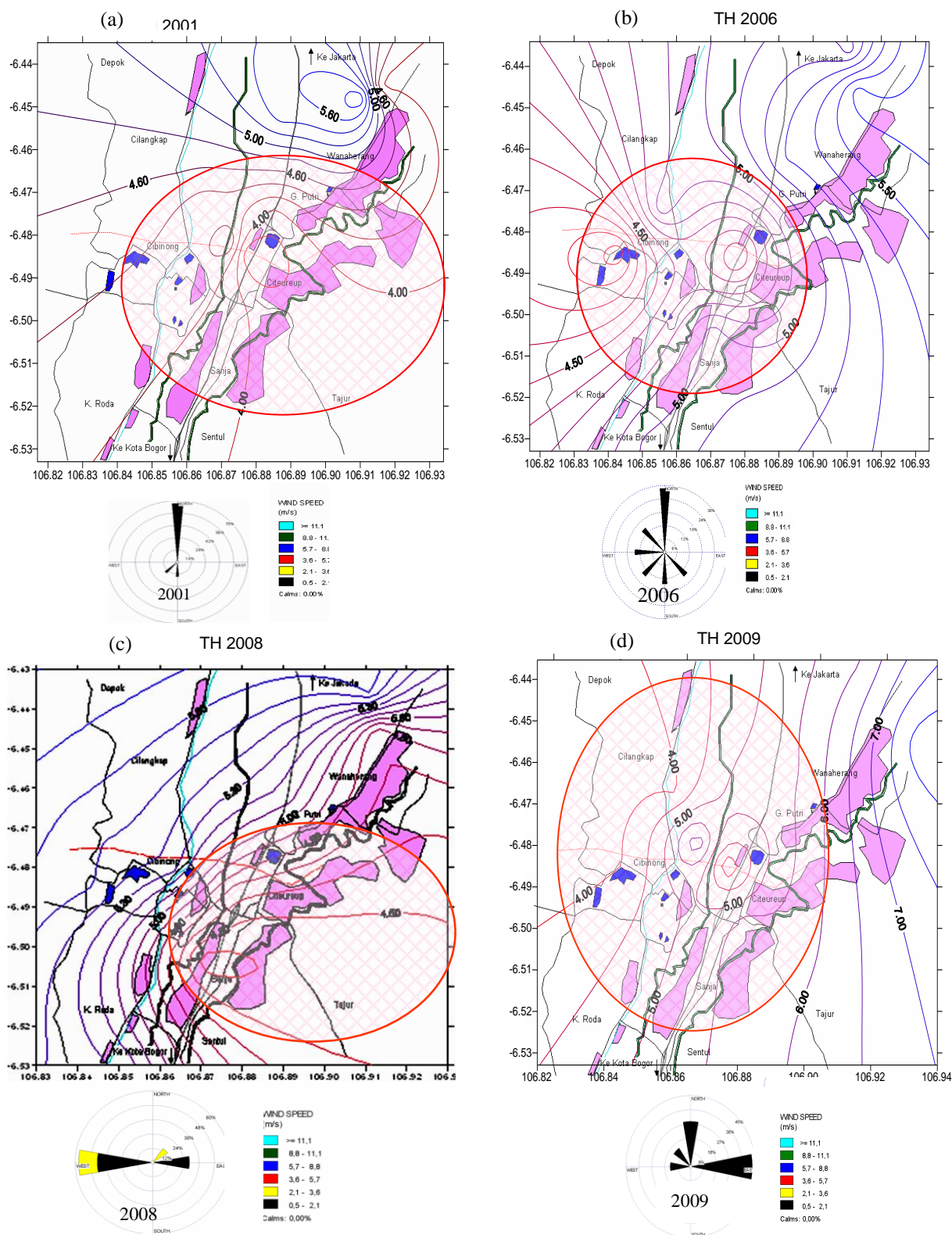
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Isopleth pH Hujan Asam. Data pH air hujan dipetakan dengan bantuan computer program surfer 6.0 menghasilkan peta *contour* pH. Peta wilayah diperoleh dari penelusuran dengan computer program *Google Earth* kemudian peta dilakukan digit ulang dengan bantuan computer program GIS ArcView 3.3 menghasilkan peta wilayah penelitian. Peta *contour* pH selanjutnya dilakukan *overlay* dengan peta wilayah penelitian menghasilkan peta isopleth pH suatu peta yang menggambarkan pola distribusi hujan asam di wilayah penelitian. Gambar 1

memperlihatkan peta isopleth pH yang dibuat berdasarkan data pH air hujan tahun 1999. Kisaran pH air hujan terukur antara pH 4,5 sampai 5,4. Hujan dengan pH <5 terjadi pada daerah disekitar Pasar Citeureup dan Desa Gunung Putri meliputi daerah dalam radius 2 km. Selain daerah tersebut hanya mengalami hujan asam ringan dengan pH antara 5-5,4. Kecepatan angin di wilayah penelitian ditampilkan dengan bunga angin seperti ditunjukkan pada insert. Pada periode bulan November 1999-Februari 2000 saat dilakukan sampling air hujan rata-rata angin bertiup dari arah utara dan barat laut, dominan dari arah utara mencapai 70 % dan dari arah barat laut 30 %. Kecepatan angin bertiup sangat rendah antara 0,5 – 2,1 m/s.

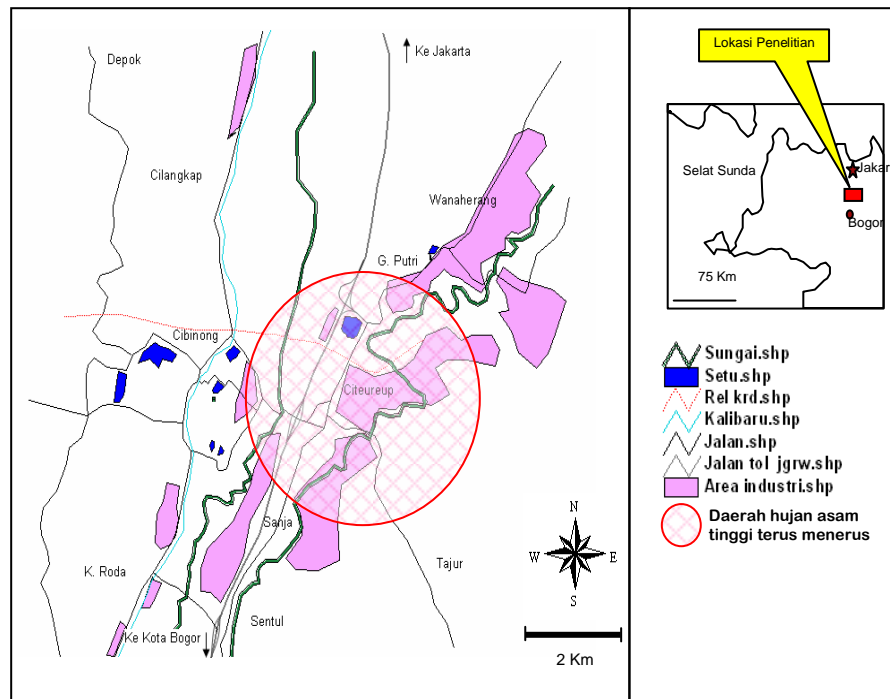


**Gambar 1.** Peta Isopleth pH air hujan di wilayah industri Cibinong-Citeureup (data pH air hujan tahun 1999). Daerah yang diarsir merupakan daerah yang mengalami hujan asam intensitas tinggi.



**Gambar 2.** Peta isopleth pH di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor pada tahun pengamatan 2001(a), 2006 (b), 2008 (c), 2009 (d). Daerah yang diarsir adalah daerah yang mengalami hujan asam intensitas tinggi (pH<5).

Hujan Asam Dan *Leaching* Fe Ke Dalam Air Sumur .....(Sutanto, dkk)



**Gambar 3.** Hasil identifikasi daerah yang sering mengalami hujan asam tinggi dari hasil *overlay* peta isopleth pH th 1999-2009 di Wilayah industri Citeureup- Bogor Cibinong Kabupaten

Gambar 2 (a) memperlihatkan peta isopleth pH air hujan yang dibuat berdasarkan data pengamatan pH air hujan tahun 2001. Kisaran pH air hujan antara 4,0 sampai 5,8. Daerah intensitas hujan asam tinggi teridentifikasi pada Desa Kranggan Kecamatan Gunung Putri dan Kecamatan Cibinong, dan sebagian Kecamatan Citeureup, dan Sentul. Pada peta memperlihatkan bahwa hampir  $\frac{1}{2}$  wilayah penelitian mengalami hujan asam. Hal ini disebabkan oleh arah angin bulan Oktober - Desember dominan dari utara dengan kecepatan 0,5m/detik sampai 2m/detik. Gambar 2(b) memperlihatkan peta isopleth pH tahun 2006. Arah angin bulan sampling dominan dari utara dan tenggara, sebagian dari barat dan barat daya. Daerah hujan asam bergeser ke arah barat dari pusat industri. Gambar 2 (c) meskipun arah angin dominan dari barat tetapi ada sebagian dari timur, atau kemungkinan angin lokal dari timur yang lebih berperan dalam sebaran polutan, sehingga daerah hujan asam

cenderung ke arah barat. Gambar 2 (d) hujan asam tersebar di sebelah barat wilayah industri yang disebabkan oleh angin dari arah timur.

Berdasarkan pola distribusi selama lima periode pengamatan nampak bahwa area yang mengalami intensitas hujan asam diperkirakan dalam radius 2km atau seluas  $\pm 12,56 \text{ km}^2$ . Area seluas ini yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi Selanjutnya disebut “pulau hujan asam”. Pulau hujan asam akan bergeser-geser, kesegala arah, dapat melebar, dan dapat juga menyempit tergantung kepada arah dan kekuatan angin. Penetapan daerah hujan asam intensitas tinggi dilakukan dengan *overlay* peta isopleth pH dari tahun 1999 sampai 2009. Daerah intensitas hujan asam tinggi yang dimaksud adalah daerah irisan (interseksi) hasil *overlay* berbagai tahun peta isopleth pH.

Hasil *overlay* berbagai peta isopleth pH ditandai sebagai daerah yang terus mengalami hujan asam. Daerah ini

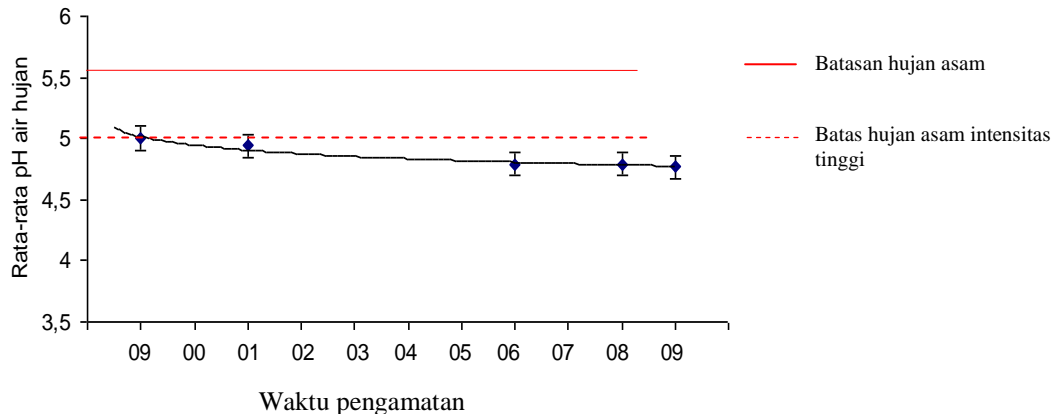


ditampilkan dalam Gambar 3 diberi tanda lingkaran berwarna berarsir kemerahan, yaitu meliputi desa: Cibinong (sebagian), Kranggan (sebagian), Puspasari, Gunung Putri (sebagian), Citeureup, Karanga Asem Barat (sebagian), dan Karang asem timur. Tingginya intensitas hujan asam dan seringnya terjadi hujan asam daerah ini disebabkan pada daerah ini terdapat banyak industri yang mengakibatkan polusi udara. Daerah ini merupakan sentral industri Cibinong-Citeureup yang memiliki potensi pencemaran udara tinggi, kepadatan kendaraan paling tinggi karena pertemuan dari berbagai jurusan seperti kendaraan dari dan ke Kota Bogor, Babakan Madang, Cilengsi dan Bekasi serta Jakarta. Kualitas udara khususnya debu di daerah ini melebihi ambang batas baku mutu menurut PP RI No. 41 tahun 1999. Kadar debu mencapai  $285 \text{ ug/m}^3$ , kadar  $\text{NO}_2$  mencapai  $700 \text{ ug/m}^3$ , dan  $\text{O}_3$  sebagai salah satu oksidan yang menjadi faktor pembentukan

asam di udara mencapai  $58.74 \text{ ug/m}^3$  (BLH,2009).

#### Perubahan pH air hujan pada daerah yang sering mengalami hujan asam.

Keasaman air hujan pada daerah yang terus menerus mengalami hujan asam intensitas tinggi ( $\text{pH} < 5$ ) rata-rata berubah dari pH 5.00 pada tahun 1999 menjadi 4,77 pada tahun 2009. Perubahan pH air hujan menunjukkan adanya perubahan kadar polutan di udara. Semakin menurunnya pH berarti semakin tinggi kadar polutan penyebab asam. Pola perubahan penurunan pH tidak linier seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Penurunan nilai pH atau peningkatan intensitas hujan asam ini dapat disebabkan oleh semakin meningkatnya polusi udara setempat, khususnya gas  $\text{NO}_2$ . Pada tahun 2007 kadar  $\text{NO}_x$  antara  $24\text{--}57,62 \text{ ug/m}^3$  (DTLH. 2007) meningkat menjadi antara  $36,44\text{--}101 \text{ ug/m}^3$  (BLH, 2009).



**Gambar 4.** Pola perubahan pH air hujan pada daerah yang terus menerus mengalami hujan asam intensitas tinggi dari tahun 1999 s/d 2009 (*error bar 5%*).

#### Hasil analisis kadar Fe dalam air sumur.

Hasil pemantauan kadar Fe air sumur pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi ( $\text{pH} < 5$ ) disajikan pada Tabel 1. Secara umum kadar Fe dalam air sumur memenuhi syarat menurut KepMenKES No. 416/MENKES/PER/IX/1990 dan Peraturan Pemerintah RI PP No. 82 tahun 2001 klas I bahwa bakumutu Fe

adalah  $0,3 \text{ mg/L}$ . Rata-rata kadar Fe dari tahun ke tahun cenderung meningkat dari  $0,141 \text{ mg/L}$  (1999) menjadi  $0,222 \text{ mg/L}$  (2009). Meningkatnya kadar Fe air sumur ini dikarena hujan asam terjadi terus menerus dengan intensitas tinggi sehingga proses *leaching* semakin meningkat.

Hujan Asam Dan *Leaching* Fe Ke Dalam Air Sumur .....(Sutanto, dkk)

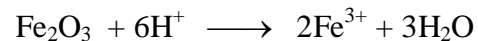
**Tabel 1.** Data rata-rata kadar Fe air sumur pada daerah yang terus menerus mengalami hujan asam intensitas tinggi di wilayah industri Cibinong-Citeureup Bogor

Lokasi sampling	Konsentrasi Fe (mg/L)						
	1999 <sup>*)</sup>	2001 <sup>**)</sup>	2006	2008 (I)	2008 (II)	2009 (I)	2009 (II)
Karangasem Barat	0,300	0,224	0,210	0,115	0,177	0,207	0,232
Kranggan,	0,300	0,210	0,210	0,224	0,169	0,211	0,236
Puspanegara 1 (Ps. Ctrp)	0,110	0,012	0,171	0,182	0,175	0,207	0,231
Puspanegara II	0,090	0,556	0,118	0,255	0,226	0,212	0,237
Jl. Raya G.Putri	0,013	0,117	0,274	0,26	0,211	0,203	0,228
Ds. G. Putri (Tl jung Udik)	0,141	0,021	0,193	0,202	0,105	0,164	0,181
Jl. Nurdin (ITC) Cibinong	0,030	0,126	0,117	0,100	0,199	0,233	0,212
Rat-rata	0,141	0,181	0,185	0,191	0,180	0,205	0,222

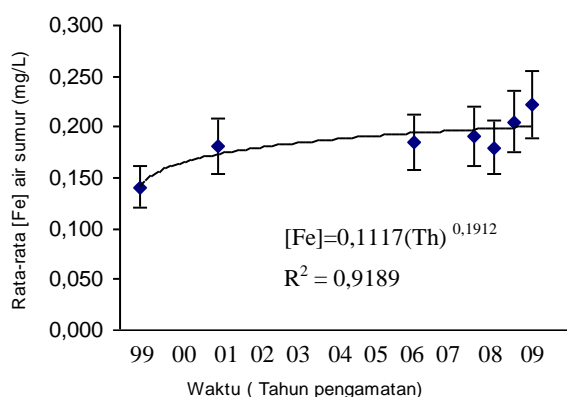
Keterangan: <sup>\*)</sup> [2] <sup>\*\*)</sup> [14] I= Sampling bulan Juni, II =Sampling bulan Desember

### Perubahan Kadar Fe dalam air sumur.

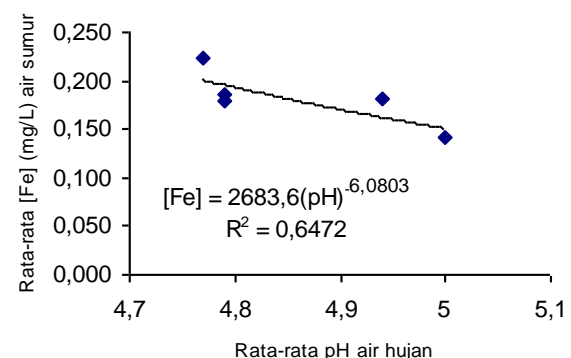
Pola perubahan kadar Fe dalam air sumur meningkat ( Gambar 5) pada *error bar* 20% mengikuti persamaan:  $[Fe]=0,1117(Th)^{0,1912}$   $R^2 = 0,9189$ . Peningkatan kadar Fe ini disebabkan adanya peningkatan keasaman air hujan dari tahun ke tahun ( $r = 0,8$ ). Gambar 6 memperlihatkan kurva hubungan antara rata-rata kadar Fe dalam air sumur dengan rata-rata pH air hujan. Terjadi hubungan langsung antara kenaikan kadar Fe dalam air sumur dengan penurunan pH air hujan. Hujan asam mempercepat pelepasan besi dalam tanah berdasarkan reaksi sebagai berikut (Manahan, 2005):



Perubahan kadar Fe dalam air sumur akibat pH air hujan cukup nyata ( P 0,049, pada konfidensi 95%) dan peningkatan kadar Fe (mg/L) mengikuti persamaan  $[Fe] = 2683,6(pH)^{-6,0803}$  dengan  $R^2 = 0,6472$ . Nilai koefisien yang rendah ini disebabkan air hujan yang jatuh dan masuk ke dalam tanah mengalami penurunan keasaman akibat adanya ion-ion penetral asam (ANC = *anion neutralizing capacity*) di dalam tanah. *Leaching* logam Fe selain dipengaruhi pH juga dipengaruhi rasio cairan/padatan [8], ukuran partikel matrik sampel (tanah), dan keberadaan oksidan (Le-ming *et al*, 2007)



**Gambar 5.** Pola perubahan kadar Fe(mg/L) dalam air sumur di daerah hujan asam intensitas tinggi



**Gambar 6.** Hubungan antara rata-rata kadar Fe (mg/L) dalam air sumur vs rata-rata pH air hujan

Hujan Asam Dan *Leaching* Fe Ke Dalam Air Sumur .....(Sutanto, dkk)

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa sebagian daerah penelitian sering mengalami hujan asam intensitas tinggi ( $\text{pH} < 5,0$ ) yaitu meliputi Desa G. Putri, Ds Tlajung Udik, Ds. Puspangara, dan Desa Puspasari, Ds Karang Asem Barat, Ds. Karang Asem Timur dengan luas area mencapai  $12,56 \text{ km}^2$ . Pada daerah ini intensitas hujan asam cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Meningkatnya keasaman air hujan menyebabkan meningkatnya *leaching* Fe kedalam air sumur secara nyata ( $P 0,049$ ,  $\alpha 0,05$ ). Sebagian daerah lagi jarang mengalami hujan asam intensitas tinggi, dan kadar Fe dalam air sumur tidak dipengaruhi oleh intensitas hujan asam.

## Ucapan Terimakasih.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada DP2M Dikti atas hibah dana penbelitian fundamental multi tahun yang diberikan dari DIPA No 0145.0/023-04.0/-/2008 dan DIPA No.0868.0/023-04.1/2009.

## DAFTAR PUSTAKA

- [APHA]. 2005. Standart methods for the examination of water and waste, 14<sup>ed</sup>. APHA. Washington D.C.
- BLH. 2009. Laporan kegiatan unit pelaksana teknis laboratorium lingkungan tahun 2009. Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Bogor.
- BPS. 2008. Biro Pusat statistik. *Kabupaten Bogor dalam Angka*. BPS Kab. Bogor.
- DTLH. 2007. Laporan pemantauan lingkungan hidup, Dinas tata ruang dan lingkungan hidup Kabupaten Bogor.
- Efe SI, Ogban FE, Horsfall M Jnr, Akporhonor EE. 2005. Seasonal variations of physico-chemical characteristics in water resources quality in western Niger Delta Region, Nigeria. *J. Appl.Sci. Environ. Mgt.* Vol 9(I) : 191-195.
- Iryani A. 2002. Pengaruh pencemaran udara terhadap kualitas air sumur penduduk (studi kasus air sumur penduduk wilayah industri Cibinong-Citeureup kab. Bogor Jawa Barat) . *Tesis*. UI. Jakarta.
- Komala O, Sutanto, Ani I, Eka H. 1999. Pemeriksaan kualitas air sumur penduduk di wilayah kompleks industri Citeureup-Bogor, ditinjau dari aspek fisika, kimia dan biologi, *J.Hasil penelitian*, LPP, Univ. Pakuan, Bogor.
- Le-ming OU, Rong-quan HE, Qi-ming F, 2007. Influence factors of pyrite leaching in germ-free system. *J.Cent.South Univ. Technol* (2007)01-0028-04.
- Manahan S. 2005. *Environment Chemistry*, Lewis Publ. Boca Raton
- Mattjik AA, Made IS. 2006. Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab. IPB PRESS.
- Menz FC, Hans SM, 2004, Acid rain in Europe and the United States: an update. *Environmental Scince & Policy*. Vol.7: 253-265
- Nwoye CI, Gideon CO, Udockchuku M, Stanley I, Chinedu CN, 2009. Model form calculating the concentration of leached iron relative to the final solution temperature during sulphuric acid leaching of iron oxide ore. *New York Scince Journal*, 2009, 2(3), ISSN 1554-0200.
- Petrakakis Y, Mylona E, Georgantas D, Geigoropoulou H. 2007. Leaching of lead from clinoptilolite at acidic conditions. *Global Nest Journal*, Vol 9. N0.3: 207-213.
- Sutanto, Ani I, Yusnira, 2002, Profil hujan asam di wilayah industri Citeureup-Cibinong Bogor, *Ekologia*, vol 2 No.2: 1-6.

Hujan Asam Dan *Leaching* Fe Ke Dalam Air Sumur .....(Sutanto, dkk)



- Tan KH. 1982. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- van der Sloot, van Zomeren A, Seignette P, Comans RNJ, van Zomeren A, Dijkstra JJ, Meeussen H, Hjelmar KDSO. 2003. Evaluation of environmental aspects of alternative material using an integrated approach assisted by a database/expert system. *Advances in Waste Management and Recycling*, September 2003, Dundee
- Weiner ER. 2000. *Applications of environmental chemistry*. Lewis Publisher, CRC Press. Boca Raton.